

中深层地热同轴套管换热器专利布局与技术演进路径研究

谢雨辰 周敏* 杨春方

中国建筑西北设计研究院有限公司 陕西西安 710018

摘要: 本研究对截至2024年10月国家知识产权局公开/公告及授权的中深层地热同轴套管换热器相关中国专利展开系统的统计分析。研究发现,自2020年起,相关专利申请量呈现显著增长趋势,且实用新型专利数量略多于发明专利。专利分布覆盖全国21个省市,其中陕西省的申请量居首位。从专利技术分类来看,涵盖井身构造、固井方法、管道材质、换热介质、数值模拟、井场布置、评价模式等8个类别,以井身构造方向的申请数量最为突出。研究表明,中深层同轴套管换热器技术发展迅速,应用前景广阔。本研究不仅系统梳理了该领域的专利情况,还深入剖析了技术演进脉络,为后续科研工作的拓展、相关政策的精准制定以及企业投资决策提供了关键参考依据。

关键词: 中深层地热; 同轴套管换热器; 专利布局; 技术分类; 应用前景

引言

在全球对清洁能源需求持续攀升的大背景下,地热能作为一种绿色、可持续的能源资源,受到了广泛关注。中深层地热同轴套管换热器作为地热能开发利用的核心设备,其技术创新对于提升地热能利用效率、降低开发成本起着关键作用。对相关专利进行深入研究,有助于清晰把握该领域的技术发展现状、未来趋势以及存在的问题,进而为技术研发的持续推进和产业的稳健发展提供有力支撑。

1 中深层地热同轴套管换热器专利统计

本研究的数据来源为国家知识产权局公开/公告及授权的中国专利,检索截止时间为2024年10月。以“中深层地热”作为检索要素,共检索到相关专利856项,其中同轴套管换热器相关专利188项,包括83项发明专利和105项实用新型专利。

同轴套管换热器相关专利申请数量随时间的分布情况如图1所示。最早公开/公告及授权的相关专利始于2017年,当年轻有7项。自2020年起,专利申请数量出现显著增长,2021年的申请量约占总申请量的1/4。这一变化趋势充分反映出近年来中深层地热同轴套管换热器技术研发活动日益活跃,吸引了更多的关注和投入。

在全国34个省市自治区中,有21个参与了同轴套管换热器相关专利的申请,其数量分布情况如图2所示。陕西省(55项)、河北省(24项)、河南省(13项)的申请量位列前三,这三省的申请总量占比达到50%。这表明这些

地区在中深层地热同轴套管换热器技术研发和应用方面处于领先地位,可能得益于当地丰富的地热资源、有力的政策支持以及较强的科研实力等因素。同时,也说明该技术在地域分布上具有一定的集聚性,整体仍具备较大的推广空间。

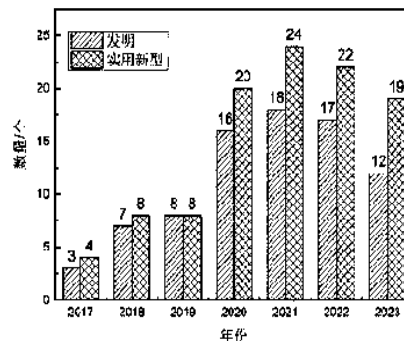


图1 同轴套管换热器相关专利申请数量随时间分布

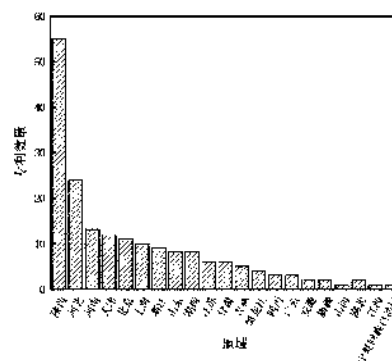


图2 各省市同轴套管换热器相关专利申请分布

2 同轴套管换热器专利统计

为深入探究中深层地热同轴套管换热器在不同技术领域研究状况,本研究将其专利细分为井身构造、固井方法、数值模拟、配套设备、管道材质、换热介质、井场布置、评价模式等8个类别,并对不同类别在发明专利与实用新型专利中的占比进行详细分析,具体情况见图3、图4。

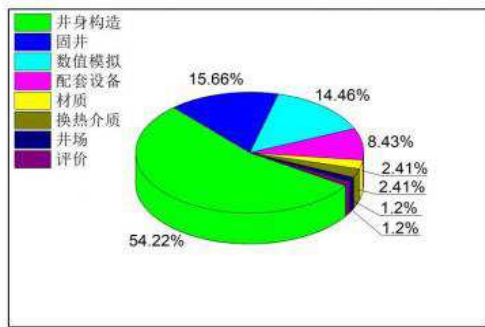


图3 发明专利研究重点占比

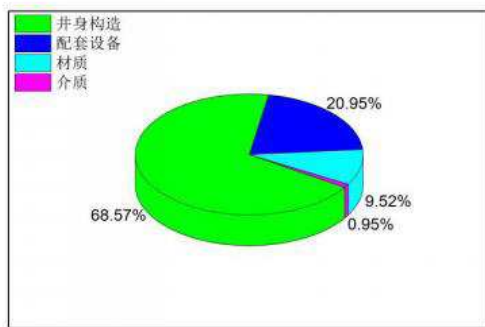


图4 实用新型专利研究重点占比

2.1 井身构造

井身构造方向的研究聚焦于优化换热器结构,旨在解决现有结构存在的换热与取热速率不匹配、散热量大、持续取热能力差等问题。该方向的专利数量在所有类别中最多,发明专利有45项,实用新型专利达72项。

套管结构的主要研究重点是增加换热面积、提高单井有效供热半径和取热量是套管的主要研究重点。邵继新提出的三段式套管^[1],将套管自上而下划分为保温管、转换管和换热管三段不同结构,通过改变换热介质在套管内的运行流态,有效提高了单井取热量。赵大军、周聪、姜鉴明等人分别在套管内、外侧增设圆柱形弹性金属翅片^[2]、外凸肋^[3]、凸起的纵向金属翅片^[4]及螺纹叶片^[5]与凸齿^[6]等结构,这些措施可有效增加供热半径,提高单井换热效率。闫涵通过

在外套管中设置球柱状结构形成蓄热腔^[7],加速水温提升,增强套管的蓄热性能,从而提高换热效率,不同类型的套管结构见下图5。

内管发明专利的研究重点为结构、形状与数量。孙振介、刘强斌提出的螺旋式内管^[8、9],徐敏娜将内管与螺旋状分流管结合额设计^[10]均使换热介质在高温区的行程有效延长,吸热时间、换热量提高。于明志在内管管壁中增设含辐射隔热膜的真空绝热夹层^[11],降低热辐射能力,进一步提高取热效率。刘少勇发明的多功能内管^[12]灵活连接管长度,使底层内管具备更好的耐热性,实现中深层地热的提取效率和经济效益的最大化、最优化改良,不同类型的内管结构见下图6。

在换热器整体结构形式的研究中,曹秀玲、罗景辉等通过在套管与内管之间增设循环切换结构^[13、14],实现了对介质循环深度的调节,有效避免了地热井闲置,提高其利用率。张英琛在换热器内管外侧分别设置不同材质的保温段与非保温段^[15],形成独特的环状换热空间,相较于现有同类技术具有更高的取热能力和更低的钻井成本。李建峰在内管底部增设吸热头,并与套管底部的聚热定向器巧妙结合^[16],从而增加换热介质在加热段的换热接触面,显著提升了换热效果。

2.2 固井方法

中深层同轴套管换热器在固井方向的专利集中在发明专利,共计13项。研究重点围绕不同材料的作用及其配比、作业方式展开,核心目的是增强固井的导热、抗压和稳定性能。

在固井结构方面,根据地质部门公布的数据显示,地层温度、导热系数与深度呈正相关,上部地层温度低于换热器循环介质的温度时,会产生热损失;下部地层导热系数高于固井层导热系数,会形成保温层,降低换热器换热性能。针对此问题,陈军、仇春伟提出将固井层分为上、下两部分^[17],并使下部固井层的导热系数高于上部,采用“上部绝热固井、下部增强换热固井”的方式^[18],有效减少热损失,提高单井换热量。

在固井材料方面,不同的材料发挥的作用不同。张勇将水泥、碳化硅、铁粉、羧系减水剂在特定条件下混合,制备出不易分层的节能型导热复合材料^[19]。郭文利用具有优异导热性能的石墨、碳化硅、氧化铝等无机材料进行固井,同时掺混碳化硅、氧化铝充填孔隙、密实基体^[20]。

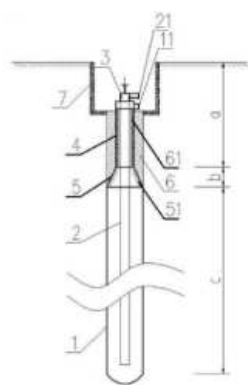


图 5a 三段式套管结构形式

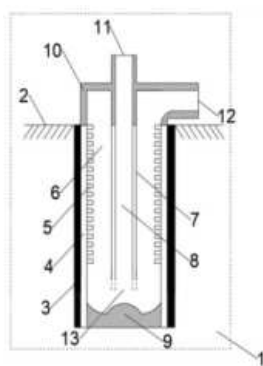


图 5b 套管内侧螺旋叶片形式

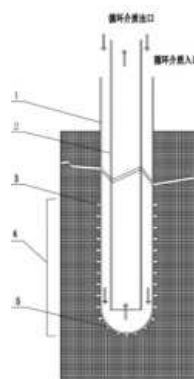


图 5c 套管外侧螺旋状凸齿形式

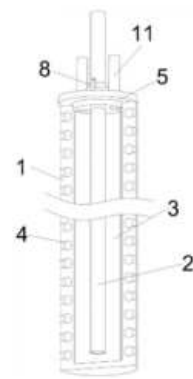


图 5d 套管蓄热腔结构形式

图 5 不同类型的套管结构

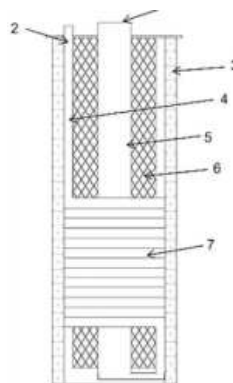


图 6a 螺旋式内管形式

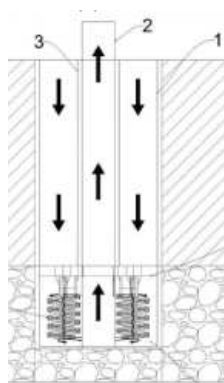


图 6b 内管结合分流管形式

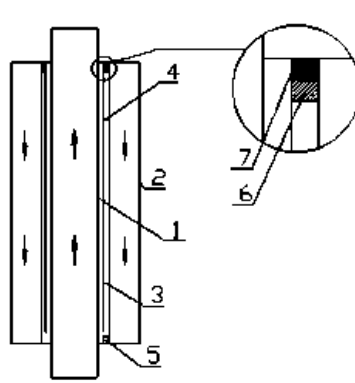


图 6c 辐射隔热膜的真空绝热夹层形式

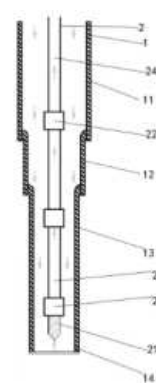


图 6d 多功能内管形式

图 6 不同类型的内管结构

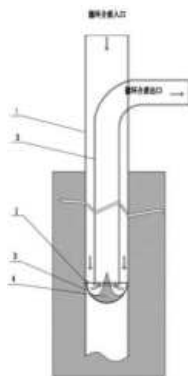


图 7a 缓冲器与降阻器形式

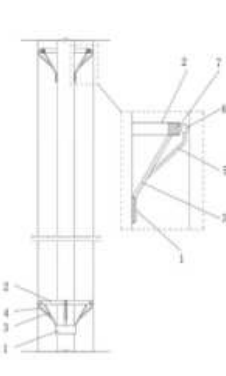


图 7b 内管定位装置形式

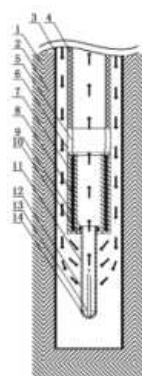


图 7c 套管沉管装置结构形式

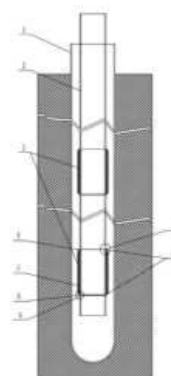


图 7d 内管分段配重装置结构形式

图 7 不同类型的配套设备

在固井创新技术方面，袁益龙发明的高压旋喷灌浆技术^[21]，在地热井中下部高温储层部分构建高热旋喷桩，降低了传统固井水泥和地层低导热系数对地热储层热量向井筒传输的影响，并在增加井壁稳定性的同时，提高了换热效率。

2.3 配套设备

中深层同轴套管换热器在配套设备方向的发明专利 7

项，实用新型专利 22 项。不同类型的配套设备见下图 7。

唐远程在换热器中增设由球壳状缓冲器和锥体导流器组成的降阻器^[22]，有效减少了换热介质对外套管的摩擦和冲击，延长了外套管的使用寿命。同时该设计还降低了换热介质的流动阻力，降低电机能耗，增大换热面积，提高换热效率。

邵继新发明的定位装置^[23]在确保下管过程中内管准确性方面发挥重要作用,有效防止内管在成井和运行过程中的晃动,降低了同轴套管地热井成井过程中的安全与质量风险,保证了同轴套管在后期安全稳定运行。同时,该装置通过设

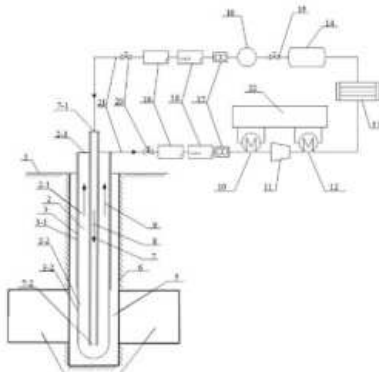


图 8a 循环 CO₂ 相变提取中深层地热能的装置

置滚动滑轮,提高了内管放入外管的顺畅度。在分段配重沉管方面,张勇提出在套管中下段设置活动、固定组合式沉管装置^[24],李彦发明了内管分段设置的配重装置^[25],这些创新设计能够均衡管材受力,有效延长换热器的使用寿命。

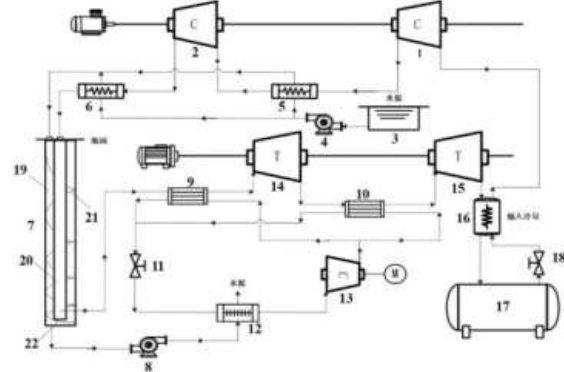


图 8b 二氧化碳储能与地热补热系统形式

图 8 不同类型的换热介质

2.4 管道材质

中深层同轴套管换热器在管道材质方向的发明专利 2 项,实用新型专利 10 项。

黄秋实提出的 PE-RTII 型热力管材,由高密度聚乙烯外护壳、聚氨酯泡沫紧密聚合而成^[26],其外壳耐磨层采用高锰钢、耐腐蚀层采用氮化硅陶瓷。赵通发明的预制硅烷交联聚乙烯管材的管道系统^[27],包括管道、封口系统及组件,能有效减少导热介质热能损耗,实现密封的热能传递系统,降低对环境造成影响。刘洪涛在原微合金化碳钢合金体系下,引入了元素 La 提高耐腐蚀性、元素 Ce 改善导热性能,研发出低合金耐腐蚀套管材料^[28]。

赵春艳发明了一种双取向的纤维增强 PE-RT 复合管^[29],从外到内依次由 PE-RT 树脂、轴向和环向纤维增强的双取向纤维增强层、抑菌防垢型 PE-RT 组成,显著提高了管道的环刚度和拉伸强度。李治设计了一种三层结构的低导热保温复合塑料管道^[30],内外层为塑料树脂,中间填充偶联剂改性硅藻土,兼具承压和保温性能。

康杰将传统的套管式换热器进行改进,采用上下两段毛细外管^[31]环状排列在内管外围,增加换热面积、换热时间与进出水温差,提高单井换热热量,从而降低初投资。

2.5 换热介质

现有中深层同轴套管换热器普遍以水作为传热工质,然而由于热储温度达不到水的汽化温度,无法通过介质相变实现高效换热。为提高地埋管换热器的取热功率,近年来开

发了水平井和对接井,但这两种方式均会大幅增加钻井的难度和成本。据统计,换热介质方向的发明专利 2 项,实用新型专利 1 项。尽管数量较少,但这些专利展现出了创新的研究方向,不同类型的换热介质见下图 8。

刘强提出的循环 CO₂ 相变提取中深层地热能的装置及方法^[31],适用于 60 ~ 100℃ 的地热资源。液态 CO₂ 依次经过环空蒸发段、环空保温段完成液态升温、相变汽化、气态升温的高效取热过程。再由环空出口流出,放热降温、增压、换热器二次降温后相变为液态,通过热泵向用户供热或储存在储液罐内。该发明不仅拓宽了地热开采可利用的领域,还节约了地热能利用成本,具有良好的经济应用前景与技术适用性。李瑞雄在此基础上对同轴套管进行改造,发明了可替代 CO₂ 储液罐并利用压缩热补热的系统^[31],进一步降低了设备成本,推动了地热能的可持续利用。

2.6 数值模拟

中深层同轴套管换热器在数值模拟方向的专利均为发明专利,共计 12 项。通过建立取热模型,精确岩土热物性参数、换热器入口温度等边界条件,提出计算温度场分析、取热量及内管保温长度计算方法,从取热能力、经济性等方面为中深层地热方案设计提供了重要的理论支撑和技术参考,有力的推动了相关技术的推广应用。

2.7 井场布置

中深层同轴套管换热器在井场布置方向的发明专利 1 项。王洋浩提出的中深层同轴套管式换热器管群布置方法

[32],在充分考虑避免地埋管换热器之间相互热影响的前提下,依据半径曲线确定倾斜角度,使多个换热器呈环形阵列分布,且顶部中心点连线形成的圆形直径小于底部中心点连线形成的圆形直径,优化了井场空间利用效率,提升了整体换热效果。

2.8 评价模式

中深层同轴套管换热器在评价模式方向的发明专利1项。

朱超提出的中深层同轴套管换热器供热系统全生命周期经济性评价方法^[33],通过循环介质参数计算短期换热器取热能力,结合全生命周期时长得出全生命周期取热潜力,并进一步计算平均能源成本与净现值,实现了对系统全生命周期经济性的全面、科学评价,为项目投资决策和运营管理提供了关键依据。

3 结论

本研究对国内中深层同轴套管换热器相关专利进行了全面、系统的归纳总结,为该领域的研究人员、政府部门以及企业提供了具有重要价值的参考依据。

(1)我国中深层同轴套管换热器相关专利申请呈现稳定增长态势,其中实用新型专利数量略多于发明专利。这一现象不仅表明近年来中深层地热供热领域研究活跃,也反映出同轴套管换热器作为关键研究方向,技术成熟度正逐步提升,市场应用前景广阔。更为重要的是,这显示出行业内对技术创新的积极探索,从多个技术维度不断尝试突破,以满足市场对高效、稳定地热能利用设备的需求。

(2)中深层同轴套管换热器相关专利的申请人/单位分布于全国21个省市,陕西省申请数量最多。这一分布特征充分体现了该技术广泛的应用前景和较强的适用性,在地域和环境方面受限制较小。同时,也凸显出部分地区在技术研发和产业发展方面的显著优势,这些地区凭借丰富的地热资源、完善的政策扶持以及强大的科研实力,在中深层地热产业中发挥着示范引领作用,为其他地区的产业发展提供了宝贵经验和借鉴方向,有助于推动中深层地热产业在全国范围内实现均衡、协同发展。

(3)中深层同轴套管换热器专利涵盖井身构造、固井方法、数值模拟、配套设备、管道材质、换热介质、井场布置、评价模式等8类。其中,井身结构方向申请数量占比最大,发明专利与实用新型专利分别达到54.22%和68.57%。这清晰地表明,当前技术创新的重点聚焦于换热器自身结构的优

化。未来,在持续强化井身结构研究的基础上,应加大对其他技术方向的研发投入,促进技术的全面协调发展。例如,在换热介质领域,突破现有以水为传热工质的局限,研发更多高效的换热介质;在数值模拟方面,进一步完善模型,提高模拟精度,为工程实践提供更精准的理论指导。通过多方向、全方位的技术创新,不断提升中深层地热同轴套管换热器的性能和应用价值,推动中深层地热产业迈向新的发展高度。

参考文献:

- [1]邵继新,王晓龙,魏国平等.一种中深层地热能用高效换热器[P].甘肃省:CN217402884U,2022-09-09.
- [2]赵大军,韩君鹏,张书磊等.一种中深层地热地下增强型换热系统[P].吉林:CN208205482U,2018-12-07.
- [3]周聪,陈军,陈永平等.中深层地热井内换热器[P].上海:CN107477895A,2017-12-15.
- [4]姜鉴明.一种中深层无干扰地热能高效同轴换热装置[P].陕西省:CN112923592A,2021-06-08.
- [5]娄俊庆,张奇,王晶玮等.一种用于中深地层钻孔内的同轴套管换热器[P].吉林省:CN113959103A,2022-01-21.
- [6]唐远程,韦启珍,孙志云等.一种增强换热型中深层地热同轴套管换热器[P].湖南省:CN219572320U,2023-08-22.
- [7]闫涵,孟清涛.一种深井式地热能换热器[P].陕西省:CN218379952U,2023-01-24.
- [8]孙振介,王晓光,王延永等.中深层地热单井取热系统[P].四川省:CN113237241A,2021-08-10.
- [9]刘强斌,张延军,张心等.一种无干扰中深层同轴地热联合地源热泵供暖系统[P].吉林省:CN216924492U,2022-07-08.
- [10]徐敏娜,吴慧美,彭康建等.一种中深层地热井套管式换热器[P].黑龙江省:CN218781451U,2023-03-31.
- [11]于明志,张方方,毛煜东等.含辐射隔热膜的中深层套管式地热换热器装置[P].山东省:CN111578543A,2020-08-25.
- [12]刘少勇,刘铮,高嵩.基于中深层地热源热泵套管式换热器多功能内管结构[P].天津市:CN213208260U,2021-05-14.
- [13]曹秀玲,岳沐慈,郝成印等.地热井换热装置[P].河北省:CN109724277B,2020-02-25.

- [14] 罗景辉, 张昌建, 刘欢等. 一种冬夏两用中深层地热能转换装置 [P]. 河北省: CN114234460A, 2022-03-25.
- [15] 张英琛, 周聪, 刘博洋等. 一种大口径中深层同心管换热井身结构 [P]. 陕西省: CN216076997U, 2022-03-18.
- [16] 李建峰, 王连庆, 蔡菁. 一种无干扰地热孔取热装置 [P]. 陕西省: CN212511893U, 2021-02-09.
- [17] 陈军, 周聪, 王瑞波等. 地热井内换热器及地热井固井工艺 [P]. 上海: CN107676996A, 2018-02-09.
- [18] 仇春伟, 朱树让, 朱汉臣等. 一种增强中深层地岩换热量的固井方法 [P]. 天津市: CN108316884B, 2021-07-16.
- [19] 张勇, 方姚, 金保昇等. 一种节能型导热复合材料及其制备方法与应用 [P]. 江苏省: CN111499300B, 2022-07-01.
- [20] 郭文, 陈擎, 张未等. 一种用于地热井的高导热高保温水泥及其制备方法 [P]. 陕西省: CN114315256A, 2022-04-12.
- [21] 袁益龙, 于涵, 许天福等. 一种井下高效换热系统构建方法 [P]. 吉林省: CN114961657A, 2022-08-30.
- [22] 唐远程, 韦启珍, 孙志云等. 一种降阻增效型中深层地热同轴套管换热器 [P]. 湖南省: CN219328216U, 2023-07-11.
- [23] 邵继新, 王晓龙, 司双龙等. 一种用于固定中深层地岩热换热器内管的定位装置 [P]. 甘肃省: CN217763953U, 2022-11-08.
- [24] 张勇, 朱静. 一种中深层地热井的沉管装置 [P]. 江苏省: CN108180664B, 2019-10-11.
- [25] 李彦, 唐远程, 韦启珍等. 一种地热井同轴套管内管分段配重系统 [P]. 湖南省: CN116556841A, 2023-08-08.
- [26] 黄秋实, 白雪杰. 一种 PE-RTII 型中深层地热井管道 [P]. 新疆维吾尔自治区: CN21938872U, 2023-07-21.
- [27] 赵通, 崔永岩, 刘建成. 一种特殊硅烷交联聚乙烯管材、应用和中深层地热能利用的交联聚乙烯管道系统 [P]. 河北省: CN115746433A, 2023-03-07.
- [28] 刘洪涛, 杨涛, 刘攀峰等. 一种中深层地热地埋管用低合金耐腐蚀套管材料及其制备方法 [P]. 陕西省: CN114622140A, 2022-06-14.
- [29] 赵春艳, 沈家麟. 一种双取向的纤维增强 PE-RT 复合管 [P]. 上海市: CN215674008U, 2022-01-28.
- [30] 李治, 郭海波, 吉仰哲等. 一种低导热保温复合塑料管道及其制备方法 [P]. 陕西省: CN116006785A, 2023-04-25.
- [31] 康杰, 胡志高, 王彦芳等. 一种毛细管加强型单井换热器 [P]. 湖北省: CN213178877U, 2021-05-11.
- [32] 刘强, 梁政, 王行运等. 一种循环二氧化碳相变提取中深层地热能的装置及方法 [P]. 河北省: CN114111072B, 2023-06-27.
- [33] 李瑞雄, 令兰宁, 赵静等. 基于同轴套管的二氧化碳储能与地热补热系统及运行方法 [P]. 陕西省: CN116066195A, 2023-05-05.
- [34] 王泮浩, 姜静华, 张育平等. 一种中深层同轴套管式换热器管群布置方法 [P]. 陕西省: CN112861200B, 2022-10-28.
- [35] 朱超, 王泮浩, 李奕臻等. 中深层同轴套管式地埋管供热系统全生命周期经济性评价方法 [P]. 陕西省: CN116128369A, 2023-05-16.
- 作者简介:** 谢雨辰 (1994—), 女, 汉族, 陕西省西安市, 硕士研究生, 中国建筑西北设计研究院有限公司, 工程师, 暖通空调。
- 通讯作者:** 周敏 (1963—), 男, 汉族, 江苏省无锡市, 硕士研究生, 中国建筑西北设计研究院有限公司, 教授级高级工程师, 暖通空调。
- 基金项目:** 中深层地热 (换热型) 热泵供暖系统低碳可持续关键技术研究 (2023-K77)。